

メタンハイドレート生産時の環境影響評価のための 総合モニタリングシステムの開発 — フェーズ 1 の成果概要 —

Development of Integrated Monitoring System for Environmental Impact Assessment in Methane Hydrate Production

上 田 聡 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部技術部
栗 島 裕 治 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部技術部 主幹
真 鍋 英 男 株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド エンジニアリング事業部技術部 主幹

国産エネルギーとして活用が期待されるメタンハイドレートは、経済産業省の長期計画に基づき官民学共同で組織された「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（通称：MH21）」の主導で開発研究が進められ、8年間のフェーズ1を経て、2009年度から海洋産出試験を主課題とするフェーズ2に進んでいる。株式会社アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドは、フェーズ1において、環境影響評価に供される総合モニタリングシステムの開発を担当した。本稿では、フェーズ1での成果と今後の展望について述べる。

Methane hydrate is expected as a Japanese next-generation energy resource. Since 2001, the Japanese government (The Ministry of Economy, Trade and Industry) has been conducting a national project by forming the Research Consortium for Methane Hydrate Resources in Japan (MH21). The project targets development of methane hydrate lying under the seabed in the deep sea in Japanese exclusive economic zone (EEZ). One of main requirements of the project is that production of methane gas from methane hydrate must be safe without affecting the environment. IHIMU carried out development of the integrated monitoring system for the environmental assessment in the Phase I (FY2001 to FY2008) of the project, the outline of which is described.

1. 緒 言

天然資源の多くを海外に依存している我が国にとって、日本の周辺海底に賦存するメタンハイドレートは、国産のクリーンエネルギーとしてその活用が期待されている。メタンハイドレート開発研究は、2001年度から経済産業省の主導によって「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム（通称：MH21）」を主体に進められおり、フェーズ1として8年間にわたる基礎研究を経て、2009年度から海洋における産出試験を主課題とするフェーズ2へと研究を進めたところである⁽¹⁾。

フェーズ1におけるメタンハイドレート資源開発においては、資源量・賦存状態の調査（資源量評価）、メタンハイドレートからメタンガスを経済的に生産する生産技術の開発（生産手法開発）とともに、適切な環境影響評価手法の検討（環境影響評価⁽²⁾）の三つが主要な研究課題として実施されている。株式会社 アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッドは、環境影響評価に関する検討の一環として、メタンハイドレート開発時の環境影響評価

に供される総合モニタリングシステムの開発を担当した。

本稿ではフェーズ1で実施した総合モニタリングシステムの概念設計と、フェーズ2の展望について紹介する。

2. メタンハイドレート開発における環境影響

フェーズ1の前半までに得られた知見に基づき、メタンハイドレート開発時に懸念される環境影響と、その観測に関する課題を明らかにするとともに、モニタリングに適用するセンサ、電源供給、データ通信などと、これらを統合する総合モニタリングシステムの概念について検討を行った。この検討作業は、並行して研究が行われていたメタンハイドレートの賦存状態および生産手法などの研究成果を取り入れつつ、将来的な生産時の事象を想定して進めた。

2.1 海洋石油・天然ガス開発との比較

メタンハイドレート開発に関する環境影響評価を検討する例として、在来型の海洋石油・天然ガス開発が参考になると考えられる。在来型の海洋石油・天然ガス開発では環境リスクとして以下のような例が挙げられている。

(1) 栽培資源、底生生物群集、さんご礁、海底ケーブル

ルに対する侵害

- (2) 日常作業、運転中の掘削泥、エンジン排気、生活排水、生産水などの排出および漏えいによる空気および水質の悪化
- (3) 海底沈でん物の攪乱、掘削泥、カッピングスなどによる底生生物、さんご群集、そのほか海洋生物の窒息による死亡あるいは再生産の減少
- (4) 油漏えい起因する油皮膜による海産動植物、水鳥、海鳥の死亡あるいは繁殖の減少
- (5) 漁業区域およびレクリエーション海域の喪失あるいは減少

メタンハイドレート開発に対するモニタリングに関しては、これらの在来型の海洋石油・天然ガス開発に伴う環境リスクおよびモニタリング要求項目を参考とし、**2.2節**で紹介するとおり、広範囲の観測に対応した環境モニタリングを想定した。

2.2 メタンハイドレート開発の特徴

環境影響の観点から、在来型の海洋石油・天然ガス開発と比較して、メタンハイドレート開発の特徴を整理したものを**第1表**に示す。この特徴に対して、モニタリングシステムを検討するうえで考慮すべき環境リスクを整理した。

第1表に示された特徴のうち、特に在来型の海洋石油・天然ガス開発と異なるのは、地層構造などによって形成されるトラップによらず、ハイドレートという流動性のない固体結晶として地層内に貯留されていることである。この

ことが、メタンハイドレート開発において、在来型の海洋石油・天然ガス開発で想定される環境リスク要因以外に、次の二つの事象についても考慮する必要を生じさせている。

一つは、メタンハイドレートが分解・溶解して発生したメタンガスの漏えいである。一般的に砂泥互層の砂層にメタンハイドレートが貯留していることから、その砂層の上方の泥層がメタンガスに対してトラップの役割を果たすと期待される。また、メタンハイドレートは元来、温度、圧力などの条件が変わらない限り安定な状態を保ち続けるので、たとえ貯留地層と海底面の間に亀裂ができたとしても、メタンガスまたは溶存メタンが直ちに海水中に漏えいすることはない。しかし、貯留地層内の温度、圧力などが変化するような生産手法を用いた場合には、き裂を介したメタン漏えいの可能性を考慮する必要がある。

生産開始前には貯留地層の精査が行われるが、地層内の微細なき裂をすべて確認することは困難と推測され、漏えい監視対象範囲を特定して絞り込むことも難しいと考えられる。したがって、広範囲にわたる海底付近のメタン漏えいおよびメタンハイドレート分解に伴って生成される低温で低塩分の水（生産水）などの監視が必要となることも想定される。これは在来型の海洋石油・天然ガス開発におけるモニタリングにはない、メタンハイドレート開発特有の課題と考えられる。

もう一つの考慮すべき事象は、^{こうせい}抗井の安定性である。メタンハイドレート開発では、メタンハイドレートを分解し

第1表 メタンハイドレート開発の特徴

Table 1 Comparison of methane hydrate development with conventional oil and gas development

項目	在来型海洋石油・天然ガス開発	日本におけるメタンハイドレート開発
水深	浅海～大水深	大水深（約1000 m～約3000 m）
海底下深度	深い	浅い
地層	岩層	砂泥互層
貯留層	岩層	砂層
賦存形態	地層構造などによるトラップ（例：キャップロック ^{*1} ）の下に油・ガスが貯留	トラップによらず、ハイドレート化することで地層内に貯留（ハイドレートが溶けて発生したメタンガスに対して泥層がトラップとなることが期待される）
生産手法	自噴 水攻法などによる2次・3次生産	加熱法・減圧法など
抗井	生産用抗井	生産用抗井と刺激用抗井
抗井の安定性	油・ガスを噴出させる貯留層内の圧力が地層を支えることが期待される。	キャップロックがないのでハイドレートが分解することによって地層が変形する可能性がある。また、地層の状態によって、坑口周りのケーシングが不安定になる可能性がある。
環境影響を与え得る要素	漏えい油 漏えいガス 掘削廃棄物	漏えいメタン メタン生産に伴う生産水

（注）*1：油層またはガス層の上を覆って、上方への移動を阻止している不浸透性の岩石

て生産することによって、地層内の圧力状態が変化し、上盤の地層変形を生じる可能性がある。

2.3 モニタリングの手法

総合モニタリングシステムは、環境影響評価のため、常時あるいは一定期間にわたってメタンハイドレート開発海域にセンサ類を配置し、観測したデータを監視する。モニタリングすべき項目は、環境影響評価の観点から以下の条件に当てはまるものを選定した。

- (1) 環境影響を表す直接的な項目
- (2) 万一、環境に影響を与える事象が発生した場合、その影響範囲を予測し対策を講じるために有用な項目

フェーズ 1 の研究成果と知見を踏まえて、総合モニタリングシステムによって観測するモニタリング項目を第 2 表に整理し、次に、メタンハイドレート生産時に発生する可能性のある事象を想定し、その事象の検出に適用するセンサもしくは計測方法について検討を行った。結

果を第 3 表に示す。

3. 総合モニタリングシステムの概念設計

前項に述べたメタンハイドレート開発に特有なモニタリング項目に対して、総合モニタリングシステムの概念設計を行った。

3.1 総合モニタリングシステムの検討条件

総合モニタリングシステムの概念設計に必要な諸条件を、以下のとおり設定した。

- (1) メタンガス生産方法

日本周辺のメタンハイドレートは、東部南海トラフ海域を始めとする、水深 1 000 ~ 2 000 m 程度の比較的深い海域に賦存している事が確認されている。さらに、メタンハイドレート賦存層の中に、大規模な開発の可能性をもった濃集帯と呼ばれるメタンハイドレートが厚く広く分布している鉱床が存在していることも明らかになっている。

第 2 表 モニタリング項目（対象物質）

Table 2 Monitoring items (substances) for environmental preservation

項目	分類	対象物質	理由
A	モニタリングすべき項目	メタン	メタンハイドレート開発に特有な現象であり、地球温暖化や生態系への影響など環境への影響が懸念されるため
		生産水（水温、塩分濃度）	
		地層変形	メタン／生産水の漏えいやメタンハイドレート生産井の地盤沈下の原因／予兆となる可能性があるため
B	A に併せてモニタリングすべき項目	水温、潮流速、流向、溶存酸素濃度、など	A の分析調査やそのほかの環境調査に必要な項目のため
C	今のところモニタリングする必要がないと思われる項目	インヒビタ濃度、酸性ガス、H ₂ S、メタン以外のハイドロカーボン	既存のガス生産井で特に問題となっておらず、計測されていないため（生産ライザ内の圧力・密度変化など生産装置側で計測監視されている項目もある。）

第 3 表 モニタリング項目と観測方法

Table 3 Monitoring items and measurement methods

モニタリング対象とする事象	モニタリング項目	適用を想定している観測方法（センサ）	開発状況
海水中へのメタン漏えい	海底の生物量（微生物）の変化（海底面への微量メタン漏えい）	(1) バイオマーカー	MH21 で開発中
	バックグラウンドレベルの溶存メタン濃度（海底面からの微量メタンゆう出）	(2) 集水型モニタリングシステム	MH21 で開発中 *1
		(3) 質量分析型	アメリカで開発中
	溶存メタン濃度（小規模漏えいメタン溶解分）	改良型 METS *2 センサ	MH21 で開発（フェーズ 1 で開発完了）
メタンの気泡（メタンが泡状で漏えい）	超音波センサ（気泡検知）	既存製品あり	
生産海域周辺におけるメタンの空気中への放出	海面上の気中メタン濃度	(1) 吸光型	既存製品あり
		(2) リモートセンシング	既存製品あり
海水中への生産水の放出	海水温、塩分濃度	既製のセンサ	既存製品あり
地層の変形	地層の変形量	傾斜計、高精度圧力計	既存製品あり

*1：国外の開発機の性能も調査中

*2：溶存メタンセンサ

メタンハイドレート層からガスを生産する方法としては、圧力を下げる減圧法、熱を加える加熱法およびこれらの組み合わせなどが提案されている。メタンガス生産のイメージとしては、一つの生産井によって分解されるメタンハイドレートの生産量によるが、海底下に生産井を広範囲に掘削し、海底面に多数の海底坑口装置を設置されると想定した。また、一つのガス田の広さは 10 × 10 km 程度で、生産されるメタンガスは海底面に設置されたマニフォールドに集められて、そこから海上の浮体式生産設備に送られると想定した。

(2) 自然条件

総合モニタリングシステム設置海域の自然条件は、試験的な掘削（基礎試すい）が行われた東部南海トラフ海域を想定し、水深 2 000 m 程度、海底近傍の潮流は最大 0.12 kn 程度とした。海底近傍の潮流は速くないので、海底付近に設置するモニタリングシステムに及ぼす影響は少ないと考えられる。

一方、黒潮の影響がある場合、表層潮流は最大 5.0 kn 程度と考えられるので、モニタリングシステムの設置・回収作業の検討においては十分な考慮が必要である。

3.2 総合モニタリングシステムの要求機能

総合モニタリングシステムは、第 3 表に示した事象を常時監視するとともに、万一これらの事象が発生した場合、環境影響評価に有用なデータを取得する機能をもっていなければならない。

特に、海水中へのメタン漏えいおよびメタンハイドレートの分解に伴って生成される生産水の放出を観測するためには、メタンハイドレート開発海域の海底付近から中層にかけて、適当な間隔でグリッド状にセンサを設置し、定点での連続観測を行って立体的なプロファイルを作成して、その変化を確認できることが必要と考えた。また、効果的なセンサ配置を実現するため、総合モニタリングシステムの開発と並行して研究が進められた、漏えいメタンなどの海中での拡散予測シミュレーションの検討結果を活用した。

前項で述べたように、広範囲の海域を観測対象とする必要があるが、生産井付近を除いてセンサを密に配置することは経済面、運用面で負担が大きい。このため、無人探査機（ROV：Remotely Operated Vehicle）あるいは自律型無人潜水機（AUV：Autonomous Underwater Vehicle）などの移動体を用いた観測を実施し、センサグリッド間を補

完することにした。

3.3 総合モニタリングシステムの構成

大水深において広範囲の海域観測データを長期間連続、リアルタイムに観測するためには、海底に設置したケーブルを用いて電力供給・データ通信を行うシステムの構築が必要になる。海底ケーブルを利用したリアルタイム海洋観測ネットワークを構築する動きは、海洋環境の重要性が認識されつつある近年、世界的に活発になっている。日本における独立行政法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の DONET 計画⁽³⁾、北米の NEPTUNE 計画⁽⁴⁾およびヨーロッパの ESONET 計画⁽⁵⁾など、大規模な観測システムの構築が進められている。

そこで、本モニタリングシステムでは、これらの観測システムを参考に、洋上の浮体式生産設備から海底に敷設するケーブルを基幹ケーブルとして、基幹ケーブルに一定間隔で設置する Junction Box（以下、JB と呼ぶ）および JB と各種センサを接続する分岐ケーブルから成る観測システムを想定した。基幹ケーブルには大容量のデータ伝送と電力伝送が可能な光・電気複合ケーブルの採用を想定し、分岐ケーブルの先には、各種センサから成るさまざまな形態の観測ステーションを設置する。センサはケーブルを介して電力供給を受けるとともに、その観測データを同様にケーブルを介して JB 経由で洋上の浮体式生産設備のデータセンタに送信する。また、一部のセンサについては、データセンタからの遠隔制御も可能としている。

観測ステーションは、以下に示すメタンおよび生産水の漏えいを主に観測する 5 種類と、地層の変形を観測する 1 種類の、計 6 種類の観測ステーションを想定した。

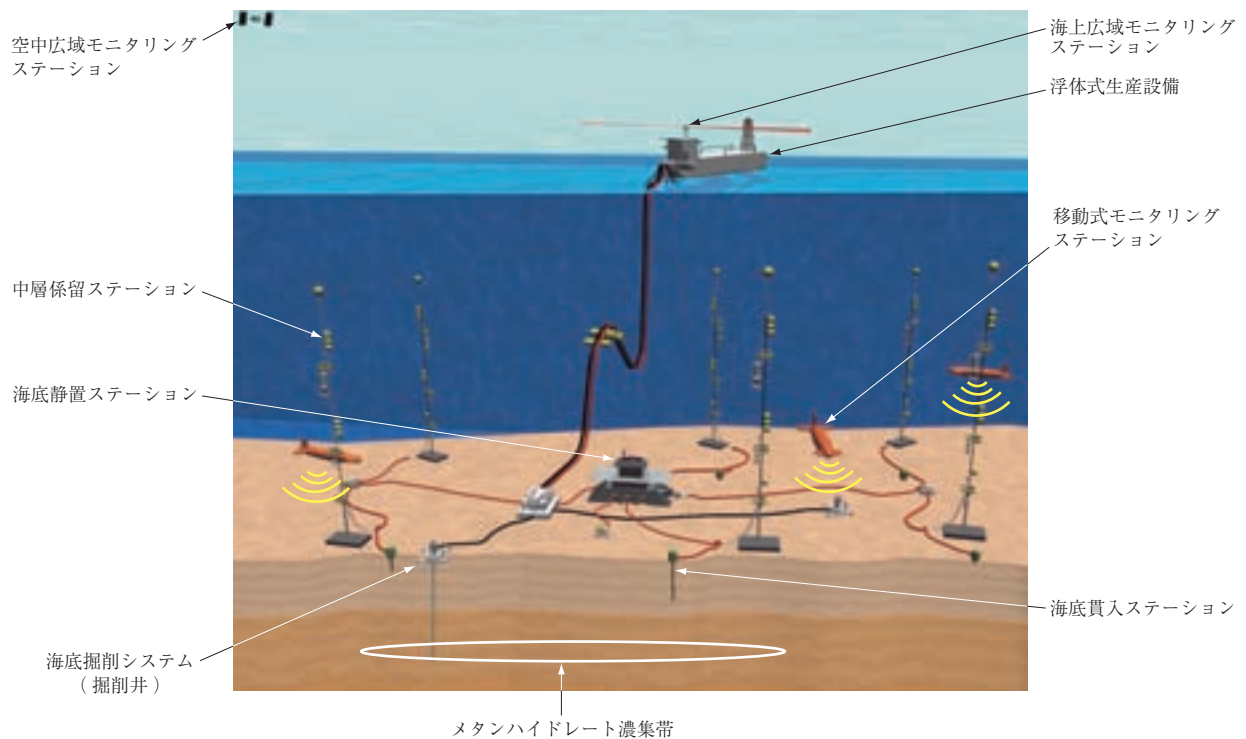
- (1) 海底静置ステーション
- (2) 中層係留ステーション
- (3) 海底貫入ステーション
- (4) 移動式モニタリングステーション
- (5) 海上広域モニタリングステーション
- (6) 空中広域モニタリングステーション

これらの観測ステーションとケーブルシステムで構成される総合モニタリングシステムの全体イメージを第 1 図に示す。

総合モニタリングシステムを構成する各観測ステーションの目的、機能などについて以下に述べる。

- (1) 海底静置ステーション

海底静置ステーションは、メタンハイドレート開発海域で長期にわたって観測する基準点的なステーシ



第1図 生産時総合モニタリングシステムの運用イメージ
 Fig. 1 Integrated environmental monitoring system for methane hydrate production

ンで、海底近傍の溶存メタン濃度、水温・塩分、潮流の鉛直分布などを連続観測し、年変動、季節変動などの自然変動が確認可能な長期的な観測データを取得する。また、観測機能に加えて、JBとしての機能を持ち、新規のセンサ類や一時的な観測装置などを柔軟に追加、展開可能とする。

観測ステーションの保守作業および障害時の復旧作業は、ROVなどを用いて行うことを想定している。また、海底静置ステーションに設置したセンサ類は、予備センサを取り付けて二重化するとともに、水中コネクタで接続する方式によってROVを用いての交換を可能にし、障害による欠測を最小限にする配慮をしている。

(2) 中層係留ステーション

中層係留ステーションは、ケーブルに浮力体を取り付けた係留系に、溶存メタン、水温、塩分、溶存酸素濃度、流向流速を計測するセンサ類を装備し、海底近傍、底層および中層でこれらを観測する。また、メタン漏えいに伴う気泡の発生を検知可能な超音波式気泡センサと位置計測用のトランスポンダを装備する。

センサの保守また故障時には、音響切り離し装置によってステーション全体を切り離し、浮上させたうえでセンサ類の整備・交換作業を行う。

(3) 海底貫入ステーション

海底貫入ステーション⁽⁶⁾は、海底面で地層の変位をリアルタイムに観測するため、加速度計と傾斜計を内蔵する耐圧容器と柱状の支持棒から成り、支持棒を海底に貫入して海底に固定する。センサは耐圧容器内のジンバル構造で支持するため、多少傾斜しても問題ない。設置の際は、海底土質が泥質の場合は、自重貫入式でよいが、固い地質の場合は圧入式などのほかの方式を適用する。

(4) 移動式モニタリングステーション

先に述べた定点設置型の観測ステーションのほかに移動式の観測ステーションを適用することによって、メタンハイドレート開発海域全体をカバーする観測データを取得する。移動式モニタリングステーションは海底付近を航行し、溶存メタン濃度などを観測し、計測値の変化に応じた自律的な漏えい状況の詳細調査も可能にする。移動式モニタリングステーションは長期観測を実現するため、海水中で給電およびデータ伝

送を行うことを目標としている。

(5) 海上広域モニタリングステーション

生産海域の大気中メタン濃度を、二つの波長の反射光の吸収差から大気中の化学物質の濃度を測定する DIAL (Differential Absorption Lidar) 方式の大気中メタン濃度計測装置を用いて観測する⁽⁷⁾。

(6) 空中広域モニタリングステーション

より広域の大気中メタン濃度を衛星によるリモートセンシングを用いて行う。

4. 今後の展望

本稿では、国産エネルギーとして期待されているメタンハイドレートの開発を進めるうえで必要な環境影響評価に供する総合モニタリングシステム開発のフェーズ 1 での成果概要について紹介した。

本検討の前提とした賦存状態、生産手法などの研究は大きな進展をみせており、モニタリングすべき環境リスクも、より具体化しつつある。今後は、商業生産時の環境影響評価への適用を目指し、フェーズ 2 で明らかになりつつある、① 生産方式や使用機材 ② 漏えいメタンやメタン生産に伴う生産水などの生物への影響度 ③ 地層の変形やメタン漏えいの発生シナリオと発生リスクの具体化 ④ 事象のシミュレーション整備、などの成果を活用し、想定される環境リスクに適応したより実用的、経済的なシステムの検討、設計を進めていく。

また、フェーズ 2 では海洋産出試験が予定されており、この試験に適用するモニタリングシステムの検討、設計、製作を進めて、試験時の環境モニタリングとその評価を行う予定である。

— 謝 辞 —

本研究開発は、「メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (通称：MH21)」の研究の一環として、財団法人エンジニアリング振興協会からの委託事業として実施し、同協会石油開発環境安全センター関係各位に多くのご

指導とご協力をいただきました。ここに記し、厚く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム：フェーズ 1 総括成果報告書 平成 20 年 8 月版 (オンライン) 入手先 < <http://www.mh21japan.gr.jp/> > (参照 2008-08-21)
- (2) 荒田 直, 齊数 協：メタンハイドレート資源開発を対象とした環境影響評価にかかわる研究概要 海洋と生物 vol. 30 No. 4 2008 年 8 月 pp. 437 - 443
- (3) 川口勝義：海底高密度リアルタイム観測ネットワークと海中作業技術 日本深海技術協会会報 通巻 52 号 2007 年 1 月 pp. 9 - 15
- (4) C. R. Barnes and V. Tunnicliffe： Building the World's First Multi-node Cabled Ocean Observatories (NEPTUNE Canada and VENUS, Canada) Science, Realities, Challenges and Opportunities OCEANS'08 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN'08 proceedings (2008. 4)
- (5) R. Parson： Long Term Multidisciplinary Deep Sea Observatories How to Find Compromise between Scientific Needs, Technological Capabilities and Financial Resources The ESONET Contribution proceedings of UT07+SSC07 Tokyo Japan (2007. 4) pp. 292 - 298
- (6) 横山幸也, 齊藤秀樹：地層変形モニタリングシステムの開発 海洋と生物 Vol. 30 No. 4 2008 年 8 月 pp. 516 - 524
- (7) 澤田信一, 田中浩一郎, 倉田孝男：ガス漏洩モニタリング (広域検出法：超音波センサー, レーザーレーダー) 月刊海洋 450 号 Vol. 40 No. 2 2008 年 4 月 pp. 117 - 123